

EFFECTO DEL TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO, SECADO Y ALMACENAMIENTO SOBRE LA CALIDAD NUTRITIVA DE LA CAÑA DE AZÚCAR. PANAMÁ. 1999.

Pedro Guerra M.¹; Alfonso W. Pinto R.²; Ricaurte Quiel.³

RESUMEN

El presente estudio se realizó en mayo de 1999 en la Estación Experimental de Gualaca (Chiriquí) con el fin de estimar el efecto del tiempo de fermentación en estado sólido, secado y almacenamiento (TFSA) sobre la calidad nutritiva de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Se escogieron al azar plantas enteras de caña de azúcar, variedad Raignar; después de 24 h se procedió a deshojar y cortar los tallos mecánicamente en tamaños de 1 a 5 mm. Se le adicionó 1.5% de urea y 0.5% de una sal mineralizada (55% sal cruda, 45% harina de hueso y 5% concentrado mineral). La mezcla se dejó fermentar al sol en capas de 5 cm por 8 h; la cual se volteaba cada dos horas para su aireación y homogenización. Posteriormente, se almacenó en sacos que fueron depositados en un lugar fresco y techado hasta completar 24 h de fermentación. El secado al sol continuó hasta el tercer día. Al final del día se pesaron y embolsaron 15 kg para cada unidad experimental y se asignaron tres réplicas a cada TFSA. A partir del cuarto día se inició la fase de almacenamiento. Los TFSA se definieron como el proceso de fermentación (24 h), secado (48 h) y almacenamiento (1, 5, 8, 12 y 29 días). Los TFSA fueron: día-4, día-8, día-11, día-15 y día-32. Al cumplimiento de cada TFSA se tomaron 200 g de cada réplica para análisis químico. Las variables de respuesta fueron: materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS), Ca, P, K, Mg, Zn y Mn. Los resultados de laboratorio se analizaron mediante técnicas de regresión simple y polinomial y modelos no lineales en los parámetros. Los contenidos de Ca, P, Mg, Zn y Mn se ajustaron a una función lineal, mientras que PC y K se ajustaron a una función cuadrática y cúbica, respectivamente. Para DIVMS la respuesta fue lineal negativa. La MS, FDN y FC se ajustaron a un modelo de crecimiento exponencial negativo. Para FDA no se encontró ajuste matemático. Los rangos de Ca, P, Mg, Zn, Mn y DIVMS fueron: 0.233 a 0.560%; 0.417 a 0.673%; 0.510 a 0.760%; 14.333 a 22.000 ppm;

¹ Ing. Agr. Zoot., M.Sc. Mejoramiento Genético Animal. Estación Experimental de Gualaca. IDIAP.

Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOC). e-mail: pguerra@idiap.gob.pa

² Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Panamá. Chiriquí, David, Rep. de Panamá.

³ Ing. Agr. Zoot. Estación Experimental de Gualaca. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOcc). e-mail: rquiel@idiap.gob.pa

26.000 a 28.333 ppm; y 49.820 a 23.557%, respectivamente. Para PC, K y FDA fueron 12.173 a 19.843%; 0.043 a 0.673 y 50.80 a 54.08%, respectivamente. Los rangos de MS, FDN y FC fueron 87.387 a 94.057%; 61.863 a 87.547% y 38.00 a 54.23%, respectivamente. La mejor calidad nutritiva de la **Saccharina** se obtuvo en TFSA de 4 a 11 días.

PALABRAS CLAVES: Saccharina; fermentación en estado sólido; calidad nutritiva.

EFFECT OF THE FERMENTATION TIME IN SOLIDE STAGE, DRYING AND STORING ON THE NUTRITIVE QUALITY OF SUGAR CANE. 1999.

In order to estimate the effect of the fermentation time in solid stage, drying and storing (FTDS) on the nutritive quality of the sugar cane (*Saccharum officinarum*) it was performed the present study at Gualaca Experimental Station of IDIAP (Chiriqui). Sugar cane whole plants, Raignar variety, were collected at random and after 24 hours it was proceeded to defoliate and cut the stalks mechanically in size of 1 to 5 mm. It was added 1.5% of urea and 0.5% of mineralized salt (55% raw salt; 45% bone flour and 5% mineral concentrate). Mixture was allowed to ferment during daylight sun at layer of 5 cm for eight hours. Mixture was turned upside down each two hours for its fermentation. Drying at sun continued until the third day. At the end of the day, it was weighted and bagged into 15 kg experimental unit and three replications were assigned at each FTDS. From the fourth day started the storing phase. FTDS were defined as the process of fermentation (24 hours), drying (48 hours) and storing (1, 5, 8, 12 and 29 days). FTDS were: day-4; day-8; day-11; day-15 and day-32. From each FTDS and replications were taken 200 g for chemical analysis. Response variables were: dry matter (DM); crude protein (CP); crude fiber (CF); neutral detergent fiber (NDF); acid detergent fiber (ADF); *in vitro* digestibility of DM (IVDDM); Ca, P, K, Mg, Zn and Mn. Laboratory results were analyzed by simple and polynomial regression techniques and by no linear model in the parameters. Contents of Ca, P, Mg, Zn and Mn were adjusted to a linear function, whereas PC and K were adjusted to a quadratic and cubic function, respectively. IVDDM was adjusted to a negative linear function. DM, NDF and FC were adjusted to negative growth exponential model. ADF was not adjusted to any function. the ranks of Ca, P, Mg, Zn, Mn and IVDDM were 0.233 to 0.560%; 0.417 to 0.673%; 0.510 to 0.760%; 14.333 to 22.00 ppm; 26.000 to 28.333 ppm; and 49.820 to 23.557%, respectively. The ranks of PC, K and ADF were 12.173 to 19.843%; 0.043 to 0.673; and 50.80 to 54.08%, respectively. Ranks of DM, NDF and CF were 87.387 to 94.057; 61.863 to 87.547% and 38.99 to 54.23%, respectively. Best nutritive quality of **Saccharina** was obtained on FTDS from 4 to 11 days.

KEY WORDS: Saccharina; solid sate fermentation; nutritive quality.

INTRODUCCIÓN

Para la ganadería bovina de cría y doble propósito, la alimentación se basa principalmente en el pastoreo de gramíneas de mediano a bajo valor nu-

tritivo. Sin embargo, estas gramíneas presentan problemas de estacionalidad en su disponibilidad de la materia seca y niveles de proteína cruda, aunado a un descenso de la digestibilidad.

Por otra parte, el uso del riego ha sido limitante y la fertilización no ha sido una tecnología muy adoptada, lo que contribuye a que la productividad y calidad nutritiva de la pradera disminuya drásticamente, siendo más notable en la época de verano o de baja precipitación.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es un cultivo que se adapta a la mayoría de las condiciones edáficas y climáticas de Panamá, principalmente donde se desarrolla la ganadería y constituye una alternativa energética para la época de verano. De acuerdo a Elías y col. (1990), los altos niveles de carbohidratos solubles y contenido celular, sumado al bajo contenido de proteína cruda, hace factible la inclusión de la urea u otra forma de nitrógeno no proteico para lograr la síntesis de proteína microbiana.

Por otra parte, Elías (1983) y Galindo (1988), citados por Elías y col. (1990), han señalado que este alto contenido de carbohidratos solubles de la caña de azúcar produce inhibición en la celulólisis ruminal, lo cual la limita como fuente básica energética para los rumiantes. Posteriormente, Elías y Lezcano (1990), citado por Elías y col. (1990), demostraron que la fermentación en estado sólido de la caña de azúcar por 24 horas produjo una disminución de los carbohidratos solubles, además de la transformación del nitrógeno

no proteico en nitrógeno precipitable al ácido tricloroacético (proteína microbiana). De esta forma, obtuvieron el producto llamado **Saccharina**. En este proceso, la energía de los carbohidratos disponibles y la urea como fuente de nitrógeno son utilizados para el crecimiento de la microflora epifítica de la caña de azúcar. Ortega y col. (1991) señalaron que la urea es hidrolizada a amoníaco por la ureasa, la cual actúa en la caña de azúcar y causa la disociación de complejos lignina-carbohidratos presentes en las paredes celulares, mejorándose así la digestibilidad.

Valiño y col. (1992) indicaron que el crecimiento microbiano es el factor principal en la obtención de la **Saccharina**, fenómeno que resulta complejo por el número de variables involucradas por la interacción de especies que se originan en este ecosistema.

La **Saccharina** presenta alto contenido protéico (comparado con la caña de azúcar) y energético. Sin embargo, no se conoce si estos contenidos son afectados por periodos de fermentación, secado y almacenamiento mayores a los tres días, reportado por Lezcano y col. (1994), por lo que el presente estudio tuvo como propósito validar la técnica de la fermentación en estado sólido desarro-

llada por Elías y col. (1990) sobre la calidad nutritiva de la caña de azúcar prolongando el proceso desde la fermentación al almacenamiento hasta los 32 días.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación: El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental de Gualaca del IDIAP, ubicada a 45 msnm en Gualaca, provincia de Chiriquí, Panamá, durante el mes de mayo de 1999.

Condiciones agroclimáticas: La precipitación anual en la Estación Experimental de Gualaca fue de 4,030 mm y la temperatura media anual fue de 25.6°C con máxima de 30.0°C y mínima de 18.0°C. La humedad relativa varió de 36% en época seca a 85% en la época lluviosa. La Estación está ubicada en el ecosistema de sabana isohipertérmico con suelos inceptisoles y bien drenados. El pH es de 4.6, saturación de aluminio de 28.2% y materia orgánica de 4.6%.

Material experimental: Se escogieron al azar plantas enteras de caña de azúcar de la variedad Raignar. Después de 24 h de cortadas, se procedió a deshojarlas y cortarles el cogollo. Posteriormente, los tallos se picaron mecánicamente en tamaños de 1 a 5 mm

(Valiño y col., 1990, citado por Lezcano y Elías, 1992).

Preparación del material para la fermentación en estado sólido:

Para la preparación del material se utilizó el procedimiento de Elías y col. (1990). En una plancha de concreto, se mezcló el material picado con 1.5% de urea al 46% de nitrógeno y 0.5% de sal mineralizada rica en micro y macroelementos (55% sal común, 45% de harina fina de hueso¹ y 5% de concentrado mineral). El material mezclado fue expuesto al sol a una altura de capa de 5 cm. Posteriormente, se volteaba cada dos horas por ocho horas luz durante el primer día. El volteado se realizó con la intención de aerear y homogeneizar el material mezclado y así facilitar la fermentación aeróbica. Finalizadas las ocho horas luz, la mezcla se recogió en sacos, los cuales fueron colocados en un lugar fresco y techado, para protegerlo de la lluvia, hasta completar 24 h de fermentación. El proceso de secado al sol continuó hasta el tercer día, de acuerdo al procedimiento de Lezcano y col. (1994). De este material picado y fermentado se pesaron y embolsaron 15 kg para cada unidad experimental o réplica; luego se asignaron tres réplicas a cada tiempo de fermentación-secado-almacenamiento (TFSA) en estudio. A partir del cuarto día comenzó la fase de almacenamiento.

¹ Debido a restricciones por el riesgo de la Encefalopatía Espongiforme Bovina se recomienda utilizar un sustituto disponible en el mercado, por ejemplo: concentrado mineral.

TFSA en estudio: TFSA se definió como el tiempo utilizado por el proceso de fermentación (24 h), secado (48 h adicionales) y almacenamiento (1, 5, 8, 12 y 29 días). Basado en lo anterior, los TFSA fueron: día-4, día-8, día-11, día-15 y día-32.

Toma de muestras: Al cumplimiento de cada TFSA, se tomaron 200 g de la mezcla de cada réplica correspondiente y se depositaron en bolsas de papel debidamente identificadas. Estas muestras se enviaron inmediatamente al laboratorio de Bromatología de la Estación Experimental de Gualaca para los respectivos análisis.

Análisis bromatológico: Se determinaron los análisis de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), zinc (Zn), manganeso (Mn), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN) de acuerdo a los procedimientos de la AOAC (1965) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), de acuerdo a Tilley y Terry (1963).

Análisis estadístico: Para determinar la existencia de una relación entre las variables de respuesta y el TFSA, se procedió al análisis de regresión (método de mínimos cuadrados) y su validez para fines de predicción y estimación. Así, para el Ca, P, K, Zn, Mn y DIVMS se utilizó la técnica de regresión simple y para la PC y el Mg y FDA

se utilizaron las técnicas de regresión polinomial de segundo y tercer grado, respectivamente (Daniel, 1999; Steel y Torrie, 1980; Drapper y Smith, 1981). La suma de cuadrado secuencial (Tipo I) se utilizó para la prueba de hipótesis de los modelos de regresión. Los modelos de regresión evaluados fueron:

Primer grado o lineal:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

Segundo grado o cuadrático:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$$

Tercer grado o cúbico:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3$$

Donde: Y es el estimado de la variable de respuesta, X, X² y X³ es el TFSA en primer (lineal), segundo y tercer grado, respectivamente, y los β_i son los coeficientes parciales de regresión.

Para determinar el grado de ajuste de la ecuación de regresión se realizó la prueba de falta de ajuste o "lack of fit" (Herrera y Barreras, 2000). En esta prueba, la suma de cuadrados del residual o error se subdivide en la suma de cuadrados de la falta de ajuste y la suma de cuadrados del error puro. La hipótesis a probar es:

Ho: Hay falta de ajuste del modelo de regresión

Ha: No hay falta de ajuste del modelo de regresión

$$F = \frac{\text{CM Falta de ajuste}}{\text{CM Error puro}}$$

Se estimaron otros indicadores de ajuste de la función de regresión como el coeficiente de determinación (r^2) de la muestra y la prueba de hipótesis de los coeficientes parciales de regresión mediante la prueba de F utilizando la suma de cuadrados parciales o tipo II. Las hipótesis fueron:

Función lineal: $H_0: \beta_1 = 0$

Polinomio segundo grado:
 $H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0$

Polinomio tercer grado:
 $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$

Para el análisis estadístico de la MS, FDN y FC se utilizó la técnica de modelos no lineales en los parámetros para fijar la curva de crecimiento exponencial negativa (Marquardt, 1963), la cual se expresa como:

$$Y = \beta_0 (1 - e^{(-\beta_1 X)})$$

Donde: Y es el estimado de la variable de respuesta, β_0 es el intercepto, e es una función exponencial (2.718282), β_1 es el coeficiente responsable de la curvatura de la curva y X es el TFSA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de regresión simple se detallan en el Cuadro 1. En este análisis, el efecto de la regresión para Ca, P, Mg, Zn, Mn y DIVMS fue altamente significativo ($P < 0.01$). Por otra parte, la relación en-

CUADRO 1. CUADRADO MEDIO TIPO I DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN SIMPLE DEL Ca, P, Mg, Zn, Mn y DIVMS.

| Fuente de Variación | gl | Cuadrado Medio Tipo I | | | | | |
|---------------------|----|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | | Ca | P | Mg | Zn | Mn | DIVMS |
| Regresión | 1 | 0.1704** | 0.1226** | 0.0760** | 122.14** | 299.64** | 1095.6** |
| Residual | 13 | 0.0104 | 0.0026 | 0.0059 | 6.28 | 17.94 | 36.44 |
| Falta de ajuste | 3 | 0.0065 ^{ns} | 0.0015 ^{ns} | 0.0102 ^{ns} | 4.95 ^{ns} | 13.76 ^{ns} | 81.08 ^{ns} |
| Error puro | 10 | 0.0116 | 0.0029 | 0.0047 | 6.67 | 19.20 | 23.05 |
| CV, % | | 29.64 | 10.12 | 11.87 | 14.85 | 13.65 | 15.26 |
| r^2 , % | | 55.76 | 78.47 | 49.53 | 59.95 | 56.23 | 69.81 |

** $P < 0.01$

ns = no significativo.

tre la variabilidad de los datos con respecto a la media o coeficiente de variación (CV), para el caso del Ca, resultó alto, con 29.64%, a diferencia del resto de las variables en donde el rango estuvo entre 10.12 a 15.26%, que bajo las condiciones del ensayo resulta aceptable, posiblemente por el rápido aumento de la materia seca.

La variabilidad de los datos representados por el modelo de regresión simple o coeficiente de determinación (r^2) resultó alta para el P (78.47%) e intermedia para el resto de los elementos (49.53% a 69.81%). Además, la prueba de adecuación del modelo a los datos demostró que no existe falta de ajuste al modelo lineal en los cinco elementos y DIVMS ($P > 0.05$), por lo que se establece que, bajo condiciones similares a las nuestras, el modelo lineal es el que mejor representa los datos.

De acuerdo a la prueba de ajuste, el modelo cuadrático es la función que estadísticamente ($P < 0.01$, Cuadro 2) se ajustó mejor a los contenidos de la PC en el tiempo estudiado. El modelo cuadrático representó el 92.65% de la variación de los datos, mientras que la variabilidad de los datos con respecto a la media fue muy baja y aceptable (5.71%).

El modelo cúbico se ajustó significativamente ($P < 0.01$) a los contenidos de K (Cuadro 3) en el TFSA con

CUADRO 2. CUADRADO MEDIO DE ANÁLISIS DE REGRESIÓN CUADRÁTICO DE LA PC.

| Fuente de variación | gl | Cuadrado Medio Tipo I |
|---------------------|----|-----------------------|
| Regresión | 2 | 55.617** |
| Residual | 12 | 0.735 |
| Falta de ajuste | 2 | 0.604 ^{ns} |
| Error puro | 10 | 0.762 |
| CV, % | | 5.71 |
| r^2 , % | | 92.65 |

** $P < 0.01$; ns = no significativo.

un CV de 8.52%, mientras que para la FDA esta misma tendencia no resultó estadísticamente significativa ($P > 0.27$), pero con un CV de 12.41%. El modelo cúbico representó el 56.07% de la variabilidad de los datos para el caso del K, mientras que para la FDA apenas representó el 15.44%.

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 4), los coeficientes parciales de regresión lineal para Ca, P, Mg, Zn, Mn y DIVMS fueron todos diferentes de cero ($P < 0.01$), además se establece que la función lineal es de utilidad para predicción y estimación dentro de los TFSA estudiados.

Los coeficientes parciales de regresión lineal y cuadrática de la PC (Cuadro 5) fueron estadísticamente diferentes de cero ($P < 0.01$), por lo que la función cuadrática es la que mejor funciona para la predicción y estimación de la PC.

CUADRO 3. CUADRADO MEDIO DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN CÚBICO DEL K Y FDA.

| Fuente de Variación | gl | Cuadrado Medio Tipo I | |
|---------------------|----|------------------------|-----------------------|
| | | K | FDA |
| Regresión | 3 | 0.000128** | 30.0210 ^{ns} |
| Residual | 11 | 0.000027 | 44.8515 |
| Falta de ajuste | 1 | 0.000091 ^{ns} | 31.5363 ^{ns} |
| Error puro | 10 | 0.000021 | 2.0233 |
| CV, % | | 8.52 | 12.41 |
| r ² , % | | 56.07 | 15.44 |

** P<0.01 ns P>0.27

CUADRO 4. CUADRADO MEDIO DEL ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES PARCIALES DE REGRESIÓN DEL P, Ca, Mg, Zn, Mn y DIVMS.

| Fuente de Variación | gl | Cuadrado Medio Tipo II | | | | | |
|---------------------|----|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Ca | P | Mg | Zn | Mn | DIVMS |
| Lineal | 1 | 0.1704** | 0.1226** | 0.0760** | 122.14** | 299.64** | 1095.6** |
| Residual | 13 | 0.0104 | 0.0026 | 0.0059 | 6.28 | 17.94 | 36.44 |

** P<0.01

Los coeficientes parciales de regresión lineal, cuadrático y cúbico resultaron estadísticamente diferentes de cero (P<0.01) para el K (Cuadro 6). Sin embargo, para la FDA se encontró una remota respuesta a ser diferente de cero (P<0.27). La función cúbica es la que mejor se aplica para estimaciones y predicciones del K.

Los resultados del análisis de varianza utilizando modelos no lineales en los parámetros (curva de crecimiento exponencial negativo) se detallan en el Cuadro 7. Para la MS, FDN y

FC, el modelo no lineal propuesto resultó ajustarse estadísticamente (P<0.01) a los datos. La dispersión de los datos con respecto a la media (CV) de la MS y FDN fueron menores al 8.0% y muy aceptables, mientras que para la FC fue moderadamente más alta (13.06%), pero aún así es aceptable bajo las condiciones del estudio.

Por otra parte, el modelo de crecimiento exponencial negativo explica más del 98% de la variación de los datos de la MS, FDN y FC de la **Saccharina**. La mayor explicación se

CUADRO 5. CUADRADO MEDIO DEL ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES PARCIALES DE REGRESIÓN DE LA PC.

| Fuente de variación | gl | Cuadrado Medio Tipo II |
|---------------------|----|------------------------|
| Lineal | 1 | 62.753** |
| Cuadrático | 1 | 40.785** |
| Residual | 12 | 0.735 |

** P<0.01

CUADRO 6. CUADRADO MEDIO DEL ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES PARCIALES DE REGRESIÓN DE K y FDA.

| Fuente de Variación | gl | Cuadrado Medio Tipo II | |
|---------------------|----|------------------------|-----------------------|
| | | K | FDA |
| Lineal | 1 | 0.000205** | 59.5931 ^{ns} |
| Cuadrático | 1 | 0.000243** | 71.3758 ^{ns} |
| Cúbico | 1 | 0.000252** | 76.2448 ^{ns} |
| Residual | 11 | 0.000027 | 44.8515 |

** P<0.01 ns P>0.27

CUADRO 7. ANALISIS DE VARIANZA DE LOS MODELOS NO LINEALES DE LA MS, FDN Y FC DE ACUERDO A MARQUARDT (1963).

| Fuente de Variación | gl | MS | | FDN | | FC | |
|---------------------|----|----------|-----------|---------|----------|---------|-----------|
| | | SC | CM | SC | CM | SC | CM |
| Regresión | 2 | 128954.8 | 64477.4** | 95205.8 | 47602.9* | 32514.7 | 16257.3** |
| Residual | 13 | 83.9 | 6.5 | 478.9 | 36.8 | 473.4 | 36.4 |
| Total no corregido | 15 | 129038.7 | | 5684.7 | | 32988.1 | |
| Total corregido | 14 | 200.5 | | 1633.1 | | 17.9 | |
| CV, % | | 2.75 | | 7.66 | | 13.06 | |
| r ² , % | | 99.93 | | 99.50 | | 98.56 | |

SC= Suma de Cuadrados CM= Cuadrado Medio ** P<0.01

obtuvo en la MS (99.93%) y en un ligero menor grado en la FC (98.56%).

En el Cuadro 8 se resumen los parámetros y errores estándar de las funciones de predicción y estimación de los análisis de regresión simple y polinomial. De acuerdo a los Cuadros 5, 6 y 7 todos los parámetros resultaron diferentes de cero ($P < 0.01$) a excepción de la FDA.

El Cuadro 9 resume los promedios aritméticos y desviaciones estándar de las variables de respuesta por cada TFSA sin ajustar por la función de regresión.

El rango de MS (87.4% a 94.0%) encontrado en este estudio fue ligeramente mayor al reportado por Elías y col. (1990), el cual fue de 87.1% a 89.5% (Cuadro 9) con un período de almacenamiento menor de siete días.

Los resultados de MS de estos investigadores concuerdan con los valores de MS encontrados a los días 4 y 8, respectivamente. El aumento de la MS se atribuye a la pérdida constante de agua aún después del período de fermentación de tres días. En un estudio posterior, Valiño y col. (1992) encontraron que la MS aumentó de 19% a 75% en un período de 24 h cuando la mezcla fue sometida a un flujo de aire a temperatura ambiente y luego 12 h de flujo de aire caliente para la fase de

secado. Agregan que la MS se incrementó a razón de 1.96% por hora e igualmente lo relacionaron a la pérdida rápida de humedad por la aireación. De acuerdo a Lezcano y col. (1994), la MS alcanzó niveles de 88.5% y 88.9% a los tres días de fermentación-secado a alturas de capas de fermentación de 10 y 5 cm, respectivamente.

En la medida que la MS aumentó, la FC y FDN mostraron igual tendencia. Sin embargo, el rango de FC (38.0% a 54.2%) superó al rango reportado por Elías y col. (1990) de 24.6% a 26.5%. A pesar de que estos autores no reportan la variedad de caña utilizada, se atribuye que esta marcada diferencia también puede estar influenciada por este factor.

El rango de PC de la **Saccharina** publicado por Elías y col. (1990) va de 11.1 a 16.0%, el cual es ligeramente menor al encontrado en este estudio, con un rango de 12.2% a 19.8%. Estos valores son muy superiores a los de la caña de azúcar (2.06 a 2.50 % de acuerdo a Ortega y col., 1991 y Elías y col., 1990, respectivamente) y demuestra la capacidad de la fermentación en estado sólido de mejorar significativamente el valor proteico de la caña de azúcar. Lezcano y col. (1994) reportaron PC de 15.7% y 12.8% a alturas de capa de fermentación de 10 y 5 cm, respectivamente a los tres días de fermentación-secado. Por otra parte,

CUADRO 8. PARÁMETROS Y ERRORES ESTÁNDAR DE LAS FUNCIONES DE REGRESIÓN SIMPLE Y MÚLTIPLE POR VARIABLE DE RESPUESTA.

| Variable | Parámetros de regresión | | | |
|----------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | β_0 | β_1 | β_2 | β_3 |
| Ca, % | 0.190±0.046 | 0.011±0.003 | | |
| P, % | 0.372±0.023 | 0.009±0.001 | | |
| Mg, % | 0.547±0.035 | 0.007±0.002 | | |
| Zn, ppm | 12.746±1.136 | 0.294±0.067 | | |
| Mn, ppm | 25.279±1.921 | 0.461±0.113 | | |
| DIVMS, % | 51.905±2.738 | -0.882±0.161 | | |
| PC, % | 23.471±0.814 | -1.066±0.115 | 0.022±0.003 | |
| K, % | 0.0774325 ±0.0113656 | -0.0088601 ±0.0032298 | 0.0007391 ±0.0002477 | -0.0000151 ±0.0000050 |
| FDA, % | 67.65621 ±14.56690 | -4.77153 ±4.13951 | 0.40053 ±0.31750 | -0.00829 ±0.00636 |
| MS, % | 94.304±0.770 | 0.634±0.056 | | |
| FDN, % | 85.863±2.252 | 0.322±0.042 | | |
| FC, % | 51.925±2.500 | 0.258±0.051 | | |

CUADRO 9. PROMEDIO Y DESVIACIONES ESTÁNDAR DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA.

| Variables de Respuesta | Tiempo de fermentación-secado-almacenamiento (días) | | | | | |
|------------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| | 4 | 8 | 11 | 15 | 32 | |
| MS, % | 87.387±0.444 | 89.943±0.345 | 95.537±2.653 | 96.467±1.385 | 94.057±1.056 | |
| PC, % | 19.843±0.407 | 15.873±0.535 | 14.427±0.581 | 12.777±1.455 | 12.173±0.950 | |
| Ca, % | 0.293±0.038 | 0.233±0.035 | 0.303±0.040 | 0.330±0.017 | 0.560±0.230 | |
| P, % | 0.433±0.047 | 0.417±0.067 | 0.473±0.035 | 0.517±0.047 | 0.673±0.067 | |
| K, % | 0.054±0.003 | 0.043±0.002 | 0.053±0.003 | 0.059±0.007 | 0.057±0.006 | |
| Mg, % | 0.510±0.085 | 0.663±0.023 | 0.617±0.038 | 0.700±0.056 | 0.760±0.105 | |
| Zn, ppm | 14.333±2.309 | 15.000±1.732 | 14.333±1.155 | 18.667±4.726 | 22.000±1.000 | |
| Mn, ppm | 28.333±3.512 | 26.000±1.000 | 30.667±1.155 | 34.000±6.245 | 39.667±6.506 | |
| DIVMS, % | 49.820±2.462 | 38.680±7.207 | 48.453±1.992 | 37.310±2.977 | 23.557±6.664 | |
| FDN, % | 61.863±4.266 | 82.977±4.485 | 76.897±8.721 | 86.637±5.839 | 87.547±0.673 | |
| FC, % | 38.000±6.410 | 40.000±1.040 | 46.170±9.060 | 52.830±3.470 | 54.230±0.890 | |
| FDA, % | 54.080±13.27 | 52.450±0.440 | 50.800±2.710 | 58.840±0.330 | 53.540±7.330 | |

se observó que a diferencia de la FC y FDN, la PC disminuyó a medida que el TFSA aumentaba.

La obtención de una **Saccharina** con alto PC depende del crecimiento microbiano. De acuerdo a Valiño y col. (1992), la aireación del material preparado durante las primeras 12 h es un factor importante para el incremento de la flora microbiana. Los valores de PC encontrados en este estudio muestran una excelente actividad microbiana en la síntesis de proteína microbiana, a pesar de que no se cuantificaron las cargas e identificaron las bacterias participantes. Posteriormente, Valiño y col. (1994ab) aislaron de la **Saccharina** especies bacterianas como *Enterobacter cloacea*, *Staphylococcus epidermidis* y *Klebsiella pneumoniae* quienes participan en la hidrólisis de la urea en NH_3 , metabolito importante para la síntesis celular, lo que produce un incremento de la biomasa total. Probablemente estas bacterias y otras de similar importancia han podido estar presentes en la corteza de la caña de azúcar utilizada en este estudio y debido al contenido de PC encontrado en la **Saccharina**, podría utilizarse como suplemento parcial en la formulación de raciones de engorde de diferentes sistemas de producción animal.

Para la **Saccharina** reportada por Elías y col. (1990), el Ca se encuentra en cantidades de 0.30% a 0.40%. Los

valores de Ca se encontraron en este rango hasta el día-15, pero al día-32 aumentó a 0.56%, debido a que la MS también se incrementó. Este aumento también se registró en el P y Mg para ese mismo tiempo. La mezcla mineral utilizada en este estudio permitió valores de micro y macro minerales mayores a los indicados por Elías y col. (1990); así, reportaron rangos de P, Mg y K de 0.24% a 0.30%, 0.15% a 0.25% y 0.04% a 0.05%, respectivamente. De acuerdo al Cuadro 9, el rango del P y Mg casi duplica y triplica, respectivamente, al de Elías y col. (1990), pero es similar para el caso del K. Por otra parte, la literatura consultada no presenta información en cuanto a los contenidos de Zn y Mn, por lo que no hay referencias sobre los valores encontrados en el estudio.

Elías y col. (1990) encontraron que después de 24 h de fermentación en estado sólido de la caña de azúcar, los contenidos de FDN y FDA aumentaron significativamente de acuerdo al mes de fabricación de **Saccharina**. Así, en junio, la FDN varió de 43.5% a 52.6% y la FDA de 28.0% a 34.1%. En el Cuadro 9, los contenidos de FDN aumentaron de 61.9% a 87.5%, mientras que los contenidos de FDA aumentaron de 54.1% a 58.8%. Los autores antes citados atribuyen estos aumentos en la FDN y FDA, a la disminución del contenido

celular, ya que los carbohidratos solubles son considerablemente fermentados por el crecimiento microbiano y porque la urea tiende a aumentar significativamente la eficiencia en el contenido de nitrógeno precipitable al ácido tricloroacético. La variedad de la caña y época pudieron ser factores determinantes en los elevados valores de FDN y FDA encontrados en este estudio, ya que Elías y col. (1990) encontraron valores de 65.4% y 41.9%, respectivamente, cuando se elaboró **Saccharina** en el mes de mayo.

A medida que la MS, FC, FDN y FDA aumentaban, la DIVMS disminuía drásticamente a niveles de 23.6% al día-32, el cual resulta muy bajo en comparación con valores de DIVMS de la caña de azúcar de 35.3% (Ortega y col., 1991). Nuevamente, la época y variedad son factores que pudieran estar afectando significativamente la DIVMS. Los valores de DIVMS a los días 4 y 11 son similares a los reportados por Ortega y col. (1991) en bagazo de caña de azúcar fermentado y almacenado en bolsas de polietileno por 30 días con niveles de urea de 3% (47.2%) y 5% (49.0%) más 20% de agua; sin embargo, los niveles de PC no superaron el 9%. Para fines prácticos, la **Saccharina**, bajo nuestras condiciones, debe utilizarse antes de los 11 días para mayor aprovechamiento

de la disponibilidad de PC y la DIVMS, de manera que el ganadero no tiene que recurrir a la preparación de la **Saccharina** tan periódicamente. Además, este producto de la fermentación en estado sólido puede ser utilizado como sustituto parcial en raciones de engorde en diferentes sistemas de producción animal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ La fermentación en estado sólido, de acuerdo a Elías y col. (1990), más el período de secado y almacenamiento mejoró significativamente la calidad nutritiva de la caña de azúcar, variedad Raignar.
- ❖ El tiempo de fermentación- secado-almacenamiento (TFSA) influyó positivamente en el contenido proteico y mineral de la caña de azúcar, pero influyó negativamente en la DIVMS.
- ❖ Es factible producir y almacenar **Saccharina** de alta calidad por períodos mayores a los reportados en la literatura.
- ❖ El valor nutritivo encontrado en la **Saccharina** la ubican como una alternativa alimenticia en la elaboración de raciones para nuestros sistemas pecuarios.

- ❖ Se recomiendan duraciones menores a intermedias del tiempo de fermentación - secado - almacenamiento (TFSA) para la obtención de una **Saccharina** de buena calidad nutritiva.
- ❖ Se recomienda realizar otras pruebas de TFSA con diferentes especies de caña de azúcar y en diferentes épocas de año.

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento al personal del Laboratorio de Bromatología de la Estación Experimental de Gualaca (IDIAP) por la colaboración prestada en el análisis de las muestras.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC, 1965. Official methods of analysis of AOAC. 10th ed. Association of Official Agricultural Chemistry. Washington D.C., USA. 467 p.
- DANIEL, W.W. 1999. Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de la salud. 3^a ed. UTHEA Noriega Editores. México D.F., México. 879 p.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. 1981. Applied regression analysis. 2nd ed. Wiley & Sons. New York, USA. 756 p.
- ELÍAS, A.; LEZCANO, O.; LEZCANO, P.; CORDERO, J.; QUINTANA, L. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico en la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (**Saccharina**). Revista Cubana de Ciencias Agrícolas 24: 1-12.
- HERRERA, J.G.; BARRERAS, A. 2000. Manual de procedimientos: Análisis estadístico de experimentos pecuarios (Utilización del programa SAS). Colegio de Post Graduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Especialidad en Ganadería. Texcoco, México. 119 p.
- LEZCANO, O.; ELÍAS, A. 1992. Efecto de la temperatura y la urea en la fermentación de la caña de azúcar para producir Saccharina. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas 26: 291-294.

- LEZCANO, P.; ELIAS, A.; MARTI, J.; RODRÍGUEZ, Y. 1994. Nota sobre el efecto de la altura de fermentación de caña molida en la producción de Saccharina rústica. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 28: 327-329.
- MARQUARDT, D.W. 1963. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics* 11: 431-441.
- ORTEGA, M.E.; SERRANO, R.; OCHOA, P. 1991. Efecto del tratamiento con urea en la digestibilidad y composición química del bagazo de caña de azúcar. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 25: 269-273.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 2nd ed. McGraw Hill Book Company. New York, USA. 633 p.
- TILLEY, J.; TERRY, R. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society* 18: 104-109.
- VALIÑO, E.; ELÍAS, A.; ÁLVAREZ, E.; REGALADO, E.; CORDERO, J. 1992. Dinámica de crecimiento de la microbiota de la caña de azúcar durante la obtención de la Saccharina. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 26: 297-303.
- VALIÑO, E.; ELÍAS, A.; ÁLVAREZ, E.; QUINTANA, M.; MONTES DE OCA, N. 1994^a. Composición de especies bacterianas aisladas del proceso de obtención de la Saccharina. 1. Bacterias gram negativas. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 28: 69-74.
- VALIÑO, E.; ELÍAS, A.; ÁLVAREZ, E.; QUINTANA, M.; MONTES DE OCA, N. 1994^b. Composición de especies bacterianas aisladas del proceso de obtención de la Saccharina. 2. Bacterias gram positivas. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 28: 75-80.